

수치모형을 이용한 하상변동 예측 Prediction of River Bed Variation using Numerical Model

안 상 진* / 윤 석 환** / 백 남 대***

Ahn, Sang Jin / Yoon, Seok Hwan / Beack, Nam Dae

Abstract

In this study, one dimensional sediment movement numerical model(HEC-6) and semi-two dimensional sediment movement numerical model(GSTARS 2.1) were applied to solve the change of channel geometry in Bocheong stream. GSTARS 2.1 model was applied for the three selected sediment transport formulas(Ackers and White's, Engelund and Hanson, Yang formula) from 1993 to 2000 measured data on each section. The simulation results of Ackers and White formula for long -term bed changes are good when compared to the measured data. The HEC-6 model was applied for the simulation of one dimensional sediment movement for the same period. Comparison of the long-term simulations by GSTARS 2.1 and HEC-6 models with measured data shows that simulations by both models are in fair agreement with measured data in overall trend of the river bed changes. Comparisons of simulated cross sectional bed-elevations with measured data shows that GSTARS 2.1 model gives better agreement with than simulated results bed changes on the HEC-6 model.

Keywords : GSTARS 2.1 model, HEC-6 model. River Bed Variation

요 지

본 연구는 보청천 하도형태의 변화를 해석하기 위해 1차원 유사이동 모형인 HEC-6 모형과 준 2차원 유사이동 모형인 GSTARS 2.1 모형을 적용하였다. GSTARS 2.1 모형에 포함된 Ackers와 White 공식, Engelund와 Hanson 공식 그리고 Yang 공식의 세 가지 유사이송공식이 1993년부터 2000년까지의 하상재료에 대해 모의되었으며, 그 결과 Ackers와 White 공식이 실측치에 근사한 것으로 나타났다. 1차원 유사이동 모형인 HEC-6 모형과 GSTARS 2.1 모형과의 장기 하상변동 분석에 있어서 두 모형 모두 하천변화에 대한 전반적인 경향이 실측치의 하상변동 경향의 결과와 유사했다. 실측치와의 횡단면 변화의 비교에서 GSTARS 2.1 모형이 HEC-6 모형의 모의 결과보다 양호한 결과를 나타내었다.

핵심용어 : GSTARS 2.1 모형, HEC-6 모형, 하상변동

-
- * 충북대학교 토목공학과 교수
Prof., Dept. of Civil Engrg., Chungbuk National Univ., Cheongju, Chungbuk 361-763, Korea
(E-mail : hydrosys@trut.chungbuk.ac.kr)
- ** 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정
Doctoral Student, Dept. of Civil Engrg., Chungbuk National Univ., Cheongju, Chungbuk 361-763, Korea
- *** 남원건설엔지니어링 수자원부
Water Resource Dept. Nam Won Keon Seol Engrg., Anyang, Gyeonggi 431-600, Korea

1. 서론

하천은 하도상황의 변경, 토지이용의 변화, 골재채취, 댐과 저수지 건설 등에 의한 인위적인 요인과 대규모의 홍수, 홍수시에 발생하는 산사태와 같은 자연적인 요인에 의해 하천의 특성이 변화되고 있다. 이러한 요인에 의한 하천의 변화는 하천의 평형상태가 파괴되며 하천의 평형상태를 복원하는 형태로 반응하는 과정에서 하상상승과 하상저하의 형태로 하상변동이 일어나게 된다.

우리나라에서도 하천에 위치한 취수구 주위의 하상변동에 의한 취수장에 문제와 오염된 유사의 퇴적으로 인한 수질문제의 연구조사에 의하면 우리나라 직할하천 취수장의 36%가 퇴사 문제를 가지고 있다고 조사되었다(한국건설기술연구원, 1993). 현재 하천에서의 골재채취량은 토사이송량을 초과하고 있으며 이로 인한 하상저하는 호안이나 교각등의 피해를 초래하고 있다. 하천정비사업 및 유로변경에 따른 영향을 제대로 평가하기 위해서는 하상변동 효과를 예측하고 분석하는 것은 매우 중요하다.

하상변동모형으로 HEC-6모형(Thomas와 Prashun, 1977)은 1차원 준정상류, 비연계 모형으로 하천과 저수지에서의 세굴과 퇴적계산을 위한 수치모형으로 널리 사용되고 있으며, Molinas와 Yang(1986)은 하천 유관방법을 도입한 준 2차원 하상변동 예측모형으로서 종방향 및 횡방향의 하상변동을 모의하도록 GSTARS 모형을 개발하였다. 국내에서의 하상변동에 대한 연구는 활발히 진행되고 있으며 한국건설기술연구원(1991)에서는 HEC-6모형을 이용하여 국내하천의 장기적인 하상변동 효과를 예측하였고, 우효섭(1993)은 국제수문개발계획 4단계 연구 사업에서 국내·외적으로 널리 사용되고 있는 유사량 공식 10개를 선정하여 비교·평가한 결과 Ackers와 White 공식, Engelund와 Hansen 공식, van Rijn 공식들이 비교적 높은 정확도를 나타냄을 밝힌바 있다. 서일원(1994)은 GSTARS 모형을 금강구간(조정지 댐 하류~공주수위표)에 적용하여 GSTARS 모형의 실무 적용 가능성을 보여 주었다. 한국수자원공사(1997)에서는 HEC-6, GSTARS, RMA 모형을 금강 중류부에 적용하여 취수장 취수구와 같은 특정 수공구조물 주변의 유사이송과 하상변동을 조사하여 취수구 유사유입 저감 기법을 제시한 바 있다. 임창수 등(1999)의 연구에서는 모의 유량조건을 평균치계열과 특정치계열에 대해 GSTARS모형과 HEC-6모형을 적용하여 적합한 입력유량조건과 하상변동의 장기경향을 평

가하였다. 한국수자원학회(2001)에서는 제 9회 워킹을 통해 충격하천 흐름 모형인 GSTARS모형에 대한 기본이론과 사용방법을 제시하였다.

본 연구에서는 1차원 준정상류 모형인 HEC-6 모형과 하천유관 방법을 도입한 준 2차원 하상변동 예측모형인 GSTARS 2.1 모형을 우리나라 하천에 적용하여 하천에서 발생하는 장기 영향을 모의 분석하여 합리적인 하천계획과 효율적인 하천관리에 도움이 되고자 한다.

2. 기본이론

2.1 HEC-6 모형

HEC-6 모형은 1973년 미 공병단의 수문연구센터(U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center)의 W. A. Thomas 등에 의해 개발되었으며, 하천과 저수지에서의 세굴과 퇴적 계산을 위한 수치모형이다. HEC-6 모형은 상당기간에 걸친 세굴과 퇴적에 의해 하천의 중단 형태가 변화하는 것을 모의하고 추정하기 위해 개발된 1차원 이동상 개수로 흐름의 수치모형이다.

연속 수문자료는 여러 가지 유량과 지속기간을 지닌 일련의 정상흐름으로 나누어 적용하며, 각 횡단면 별로 에너지 경사, 유속, 수심등을 계산하고, 이에 따라 각각의 흐름에 대한 수면곡선을 결정한다. 이 때 각 단면별로 유사운송능을 계산한다. 이 운송능과 흐름 사상의 지속시간을 이용하여 각 구간별로 유사의 부피를 계산하고, 각 횡단면별로 세굴과 퇴적량을 계산하여 이에 따라 횡단면의 형태를 조절한다. 그 다음에는 주어진 일련의 수문 사상의 다음 흐름 사상에 대하여 앞의 계산에서 수정된 하천단면을 이용하여 상기 과정을 반복하여 계산한다.

2.2 GSTARS 2.1모형

GSTARS 2.1 모형은 준 2차원 하상변동 예측 모형으로서 하천유관(stream tube)방법을 도입함으로써 하상변동의 종방향 변화와 횡방향 변화를 모두 예측 할 수 있는 모형이다. 또한 모형은 하상의 장감화 효과를 정확하게 고려하기 때문에 하천의 장기적인 하상변동 효과를 예측하기에 적합하다. GSTARS 모형은 종래의 1차원 모형과는 달리 하상 표고의 변동이 진 하폭에 걸쳐서 평균되지 않기 때문에 수로단면에서 횡방향의 특정위치에서 침식과 퇴적을 보다 정확하게 모의 할 수

있다.

GSTARS 2.1 모형에서는 에너지공식, 전체소류력 최소이론, 유사의 연속방정식이 사용되며, 흐름이 사유에서 상류로 또는 그 반대로 변화하는 구간에서는 운동량 방정식을 이용하여 배수곡선을 계산한다. GSTARS 2.1 모형에서 사용하는 유관 모형은 준2차원 모형이며, 제 3의 차원으로서 수심이 모형의 계산과정에 내부적으로 결합되어 있다. 모형에서는 전 수로폭은 미리 선정된 개수의 유관으로 분할된다. 각 유관내에서의 하상표고는 흐름조건에 따라 연직방향으로 상하로 움직일 수 있다. 그 결과 한 단면에서는 침식이 일어나고 인접한 다른 단면에서는 퇴적이 일어나게 된다. 만약 하천 단면이 여러개의 유선으로 분할되었다면 단면 평균은 변동폭을 갖는 부단면의 변화량을 평균하여 얻어진다.

그림 1은 HEC-6와 GSTARS 2.1 모형의 하상변동에 대한 수로 단면 변화의 특성을 나타내고 있으며 그림에서 Solid black pattern은 세굴을 Stippled

pattern은 퇴적부분을 표시한다.

3. 적용구간 및 입력자료

3.1 적용구간

본 연구에서는 장기영향평가를 위한 대상하천구간으로 IHP 대표유역인 보청천유역중 하류부분인 기대수위표(St.167)에서 산계수위표(St.72)까지의 약 19km를 선정하였다. 본 연구대상 구간은 하상변동이 충분히 예상되는 구간이고, 신빙성이 있는 모형입력 자료와 하상변동 자료가 존재하여 모형적용에 적합한 대상하천인 것으로 판단된다. 그림 2는 대상 유역도를 나타내며, 그림 3은 하상변동 해석 구간을 도식화하여 나타낸 그림이다. 그림에서 모의시점은 기대지점이며 Station 번호는 보청천 하천정비기본계획(충청북도,1993)의 번호를 사용하였다.

본 구간은 홍수피해가 많이 나는 지역이며 골재채취

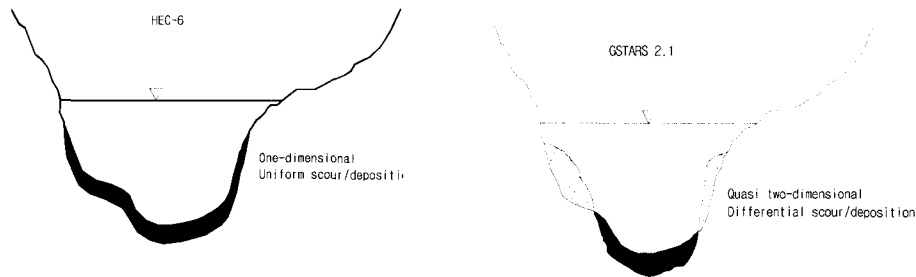


그림 1. HEC-6와 GSTARS 2.1 모형의 단면변화 특성

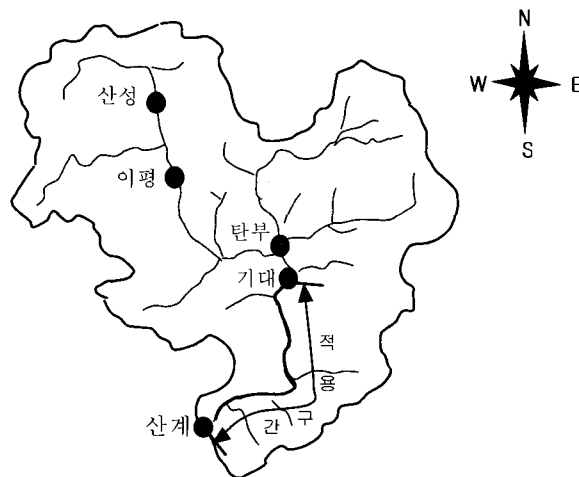


그림 2. 보청천 유역도

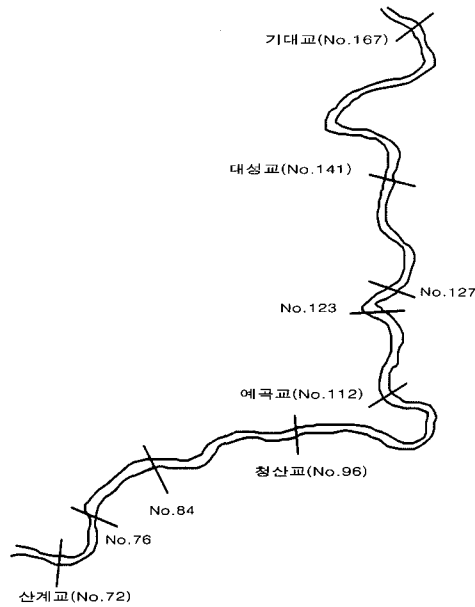


그림 3. 적용구간의 개요도

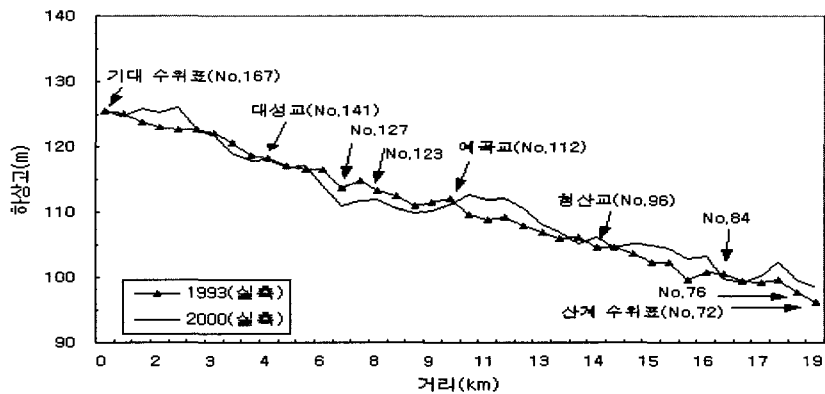


그림 4. 보청천 적용구간의 실측된 최심하상고의 비교

로 인한 하상단면이 바뀌고 있는 실정으로 하천의 제반 수리특성 및 유사 특성의 파악이 중요한 지점이다. 적용구간에서의 골재채취사항은 No.76~No.84 까지 1998년에 35,400m³양을 채취하였다.

3.2 입력자료

모형에 필요한 입력자료는 수리량 자료와 유사량 자료로 이루어지며, 수리량 자료는 하천지형자료, 조도계수, 흐름특성, 유량과 수위자료로 이루어진다. 유사량

자료는 동점성 계수 산정을 위한 수온자료, 상류경계에는 유입되는 유사량 수문곡선, 하상재료에 관한 자료 등이다.

3.2.1 수리량 자료

적용구간의 하천지형 자료로는 보청천 하천정비기본 계획(1993)과 2000년의 실측된 하천 단면 자료를 사용하였으며, 유량 및 수위 자료로는 산계지점의 일유량자료와 수위-유량곡선을 하류단 경계조건으로 사용하였다. 모형의 입력자료로서 하천의 조도계수인 Manning

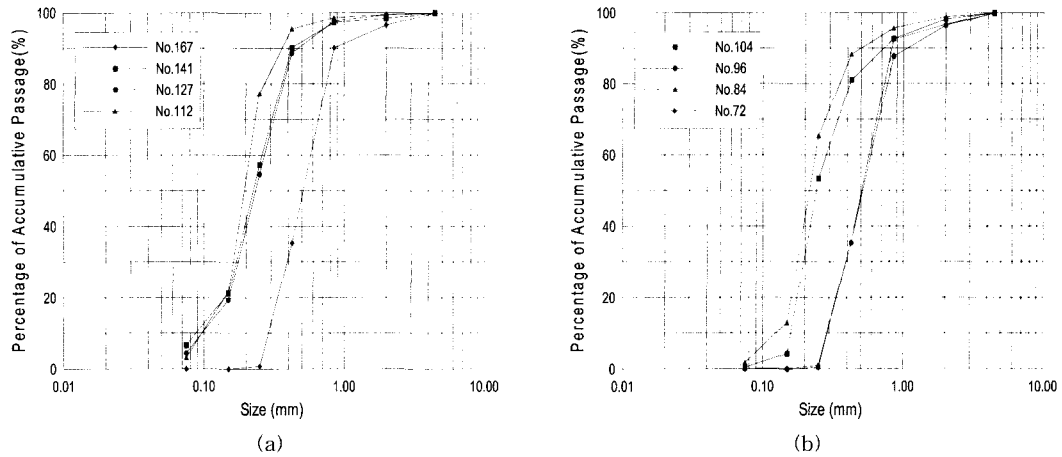


그림 5. 하상토 입경분포곡선

표 1. 하상재료의 특성

위치	단면	중앙입경 (mm)	기하평균 ($D_g = \sqrt{D_{84} \cdot D_{16}}$)	분급계수 ($D_g = \sqrt{D_{75}/D_{25}}$)	표준편차 ($D_g = \sqrt{D_{84}/D_{16}}$)	등급계수 ($G = 1/2(D_{84}/D_{50} + D_{50}/D_{16})$)
기대교	No. 167	0.45	0.46	1.46	1.53	1.53
대성교	No. 141	0.25	0.20	1.37	1.71	1.74
	No. 127	0.25	0.24	1.37	1.57	1.57
예곡교	No. 112	0.20	0.20	1.21	1.41	1.41
	No. 104	0.25	0.32	1.26	1.58	1.63
청산교	No. 96	0.47	0.53	1.22	1.42	1.43
	No. 84	0.23	0.24	1.21	1.43	1.44
산계교	No. 72	0.46	0.50	1.20	1.36	1.36

계수 n은 물의 흐름 및 유사의 운동을 지배하는 가장 중요한 인자로서 본 연구에서는 조도계수 산정을 위해 보청천 하천정비기본계획(1993)에서 제안된 값(0.030~0.035)을 선택한 후 HEC-RAS모형에 의해 보정하여 사용하였으며 저수로와 고수부지를 구분하여 0.025~0.045의 값을 취하였다. 그림 4는 적용구간의 최심선을 따라서 종방향 하상고의 변화를 비교 도시하였으며 적용구간은 1993년과 2000년에 걸친 하상고의 전반적인 거동에는 큰 변화가 없는 듯하나 1993년부터 2000년까지의 경년변화를 보면 No.141~No.123까지는 침식되었고, No.84~No.72까지는 퇴적되는 경향을 보였다.

3.2.2 유사량 자료

수온은 유사의 운동 및 물의 점성 등에 상당한 영향을 미치는 중요한 인자로서 하천정비기본계획(1993)에서 제시한 평균수온인 15.5℃를 사용하여 모의기간동안

일정하다고 가정하였다. 하상재료 자료는 상·하류 지점에 대하여 하상토를 채취하여 분석하였다. 그림 5에 주요지점의 하상재료 입경분포 누가곡선을 도시하였으며 분석의 결과를 토대로 표 1에 주요단면의 하상재료 특성을 나타내었다. 이 구간의 하상재료는 중앙입경이 0.47mm 내외의 세사와 중사로 이루어져 있다.

적용구간의 유입유사량은 산계지점에서 유사량을 실측하여 작성한 유하량과 부유사량과의 관계식을 사용하였다(건설부,1993).

$$Q_s = 2.823 \times 10^{-6} Q^{1.66} \quad (1)$$

여기서, Q_s 는 부유사량(m^3/sec), Q 는 유량(m^3/sec)이다.

4. 모형의 적용 및 결과 분석

4.1 GSTARS 2.1모형의 결과분석

GSTARS 모형에서는 각각의 유사량 공식들이 특정한 흐름상황과 한정된 범위의 입자크기에 적합하도록 개발되었기 때문에 해석구간에 대한 유사량 공식은 비교적 정확도가 높게 평가된 Ackers와 White 공식, Engelund와 Hanson 공식, Yang 공식의 세 가지 유사량 공식을 적용하고, 1993년 자료를 초기조건으로 하여 유관수를 3개로 주어 각각에 대하여 모의하였다.

세가지 유사량 공식에 따른 모의 결과와 실측치를 비교하여 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서 보면 하상 변동의 전체적인 경향이 실측치 경향을 잘 나타내고 있으나 Engelund와 Hanson 공식은 실측치에 비해 상류부에서는 침식을 모의하고 하류부에서는 퇴적을 과대 예측하였다. 그림 6을 좀더 자세히 나타내기 위해 세가지 유사량 공식의 모의 결과에 대한 실측치 변화량의 차이(1993년 최심하상고와 2000년 최심하상고의 변화)와 GSTARS 모의에 의한 결과값의 차이(1993년 최심하상고와 모형모의에 의한 최심하상고의 변화)에 대하여 그림 7~그림 9에 막대그래프로 나타내었다. 그림에서 최심하상고의 변화량의 양의 값은 1993년도 하상보다 침식되었음을 나타내고 음의 값은 하상이 퇴적되었음을 나타내고 있으며, 세 가지 유사이송공식 모두 실측치 최심하상고의 변화량이 침식이 일어난 지점에서

모형도 침식을 모의하였고 퇴적이 일어난 지점에서 모형도 퇴적을 모의함을 알 수 있었다. 세 가지 유사이송 공식을 정량적으로 분석해 보면 모의의 결과값이 유사 하나 하류로부터의 거리가 9.8km, 13km, 16.6km 지점에서 Engelund와 Hanson 공식, Yang 공식에 비해 Ackers와 White 공식으로 모의한 결과가 좀더 정확하게 모의된 점을 발견할 수 있었으며 그림 7에 비교지점을 표시하였다.

4.2 HEC-6 모형과 GSTARS 2.1모형의 결과 비교

GSTARS 2.1모형의 Ackers와 White 공식을 적용하여 모의한 결과와 HEC-6모형을 모의한 결과를 비교·분석하여 그림 10에 실측치와 모의한 결과치를 도시하였다. 그림에서 보듯이 하상 변동의 전체적인 경향에 있어서는 두 모형의 모의 결과가 유사한 경향을 나타내고 있다. 실측치와 비교해보면 HEC-6모형이 GSTARS 2.1 모형에 비해 과소하게 예측하고 있는데 두 모형의 입력자료의 특성과 하상변동에 대한 수로 단면 변화의 특성에 기인한 것으로 판단되며 GSTARS 2.1 모형이 HEC-6 모형에 비해 우수한 결과를 나타낼 수 있다.

두 모형을 결과를 정량적으로 비교해 보기 위해 지점별 최심하상고의 실측된 변동량, GSTARS 변동량, HEC-6 변동량 비교하여 표 2에 나타내었다. 표에서 변동량은 1993년 최심하상고에서 2000년 최심하상고

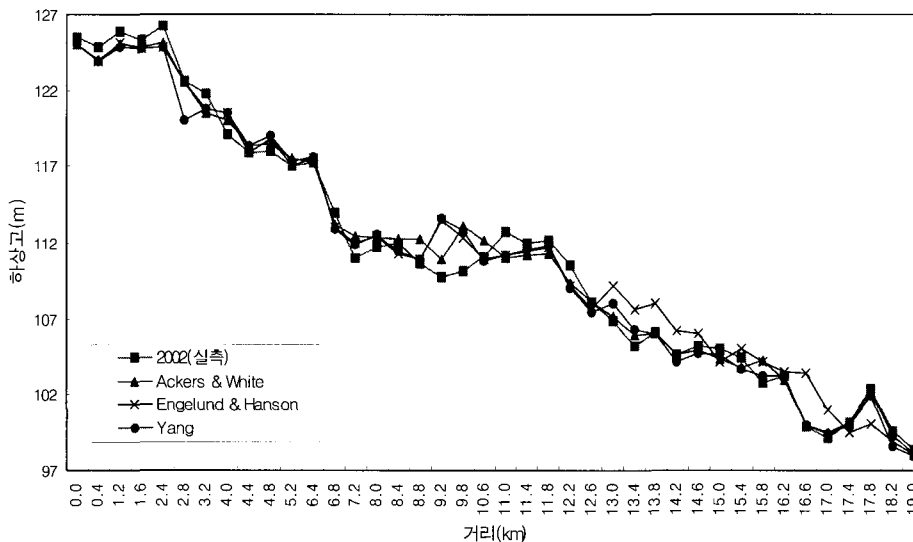


그림 6. 유사량 공식에 따른 모의 결과의 비교

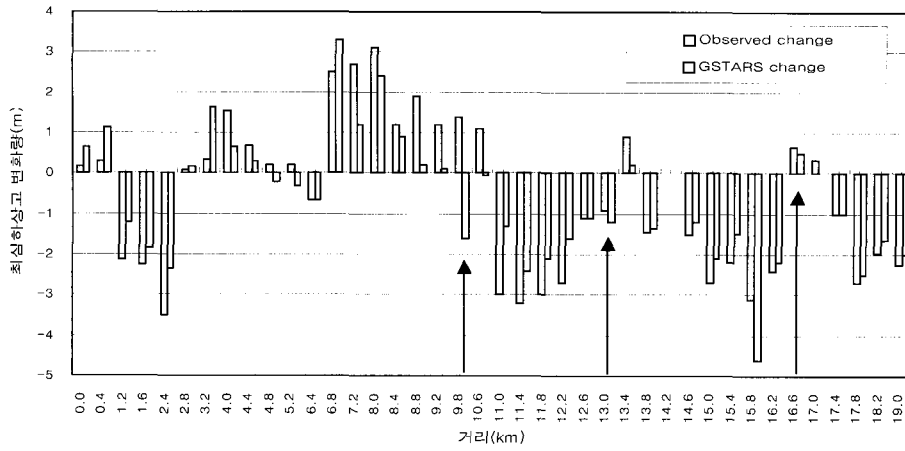


그림 7. 실측치와 Ackers와 White공식에 따른 최심하상고의 변화량 비교

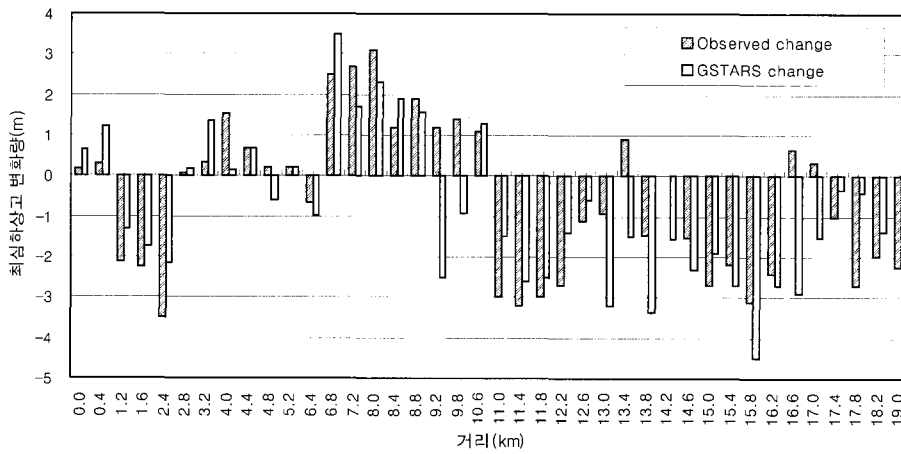


그림 8. 실측치와 Engelund와 Hanson공식에 따른 최심하상고의 변화량 비교

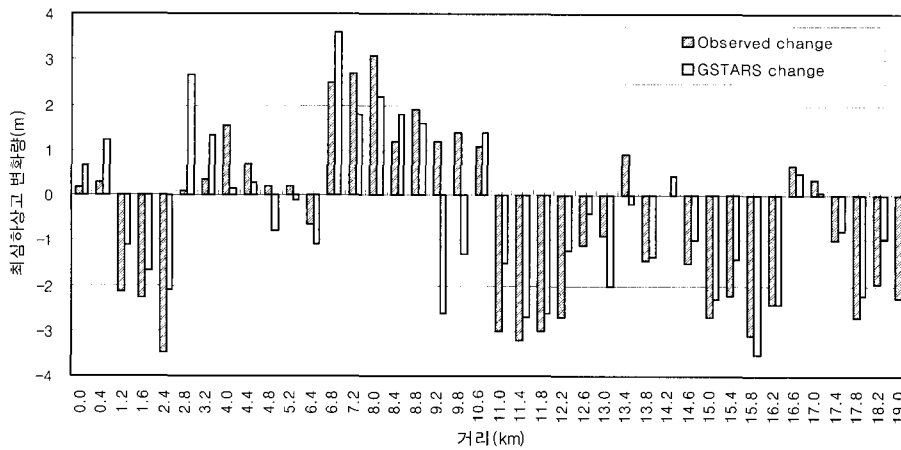


그림 9. 실측치와 Yang공식에 따른 최심하상고의 변화량 비교

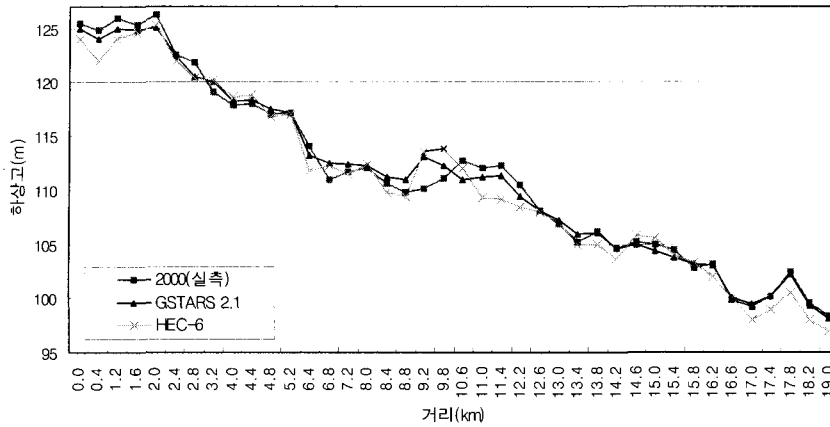
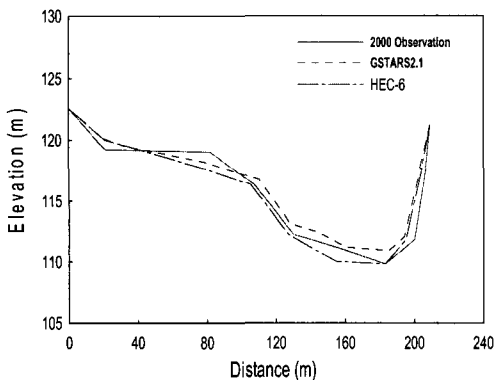


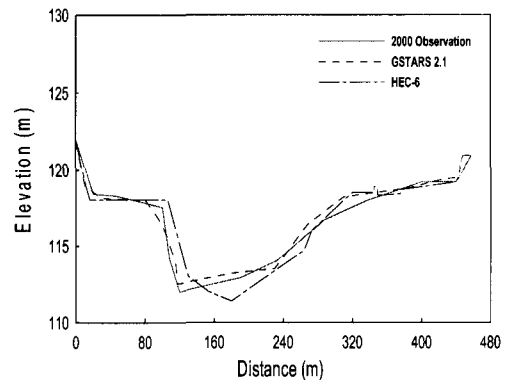
그림 10. GSTARS 모형과 HEC-6 모형 비교

표 2. 단면별 최심하상고의 변동량

단 면 (No.)	누가 거리 (km)	변동량(m)			단 면 (No.)	누가 거리 (km)	변동량(m)			단 면 (No.)	누가 거리 (km)	변동량(m)		
		GSTARS	HEC6	실측치			GSTARS	HEC6	실측치			GSTARS	HEC6	실측치
167	0.00	0.66	1.66	0.16	131	6.80	1.19	1.39	2.69	98	13.80	-1.36	-0.36	-1.46
165	0.40	1.12	3.12	0.28	127	7.20	2.39	3.39	3.09	96	14.20	0.00	1.00	0.00
161	1.20	-1.21	-0.21	-2.12	125	8.00	0.89	0.79	1.19	94	14.60	-1.21	-2.11	-1.51
159	1.60	-1.84	-1.54	-2.26	123	8.40	1.29	2.69	1.89	92	15.00	-2.11	-3.30	-2.71
155	2.00	-2.36	-2.56	-3.49	121	8.80	0.08	1.59	1.19	90	15.40	-1.51	-1.71	-2.21
153	2.40	0.17	0.67	0.07	118	9.20	-1.61	-2.11	1.39	88	15.80	-3.40	-3.60	-3.10
151	2.80	1.64	1.74	0.34	114	9.80	-0.04	-1.61	1.09	86	16.20	-2.20	-1.20	-2.40
147	3.20	0.64	0.44	1.54	112	10.60	-1.30	-2.30	-3.00	84	16.60	0.49	0.49	0.64
145	4.00	0.29	-0.11	0.69	110	11.00	-2.40	-0.50	-3.20	82	17.00	0.00	1.49	0.34
143	4.40	-0.20	-0.66	0.20	108	11.40	-2.10	0.10	-3.20	80	17.40	-1.00	0.20	-1.00
141	4.80	-0.31	0.39	0.19	106	12.20	-1.61	-0.61	-2.71	78	17.80	-2.50	-0.80	-2.70
135	5.20	-0.67	-0.47	-0.67	102	13.00	-1.20	-1.00	-0.90	76	18.20	-1.66	-0.36	-1.96
133	6.40	3.30	4.70	2.50	100	13.40	0.20	1.20	0.90	72	19.00	-1.99	-0.76	-2.26



(a) No.123



(b) No.127

그림 11. 주요지점별 횡방향 하상변동고 비교

뺨 값이다. 실측된 변동량은 $-3.49\sim 3.09\text{m}$, GSTARS 변동량 $-3.40\sim 3.30\text{m}$, HEC-6 변동량은 $-3.30\sim 4.70\text{m}$ 의 범위로 나타났다.

그림 11은 횡방향 하상변동고를 비교하여 도시하였는데 일부 국부적인 하상의 세굴을 제외하고는 하상의 횡방향 변화의 전체적인 경향에 있어서 GSTARS 2.1 모형이 HEC-6 모형에 비해 실측치에 비교적 근사하게 나타났다. HEC-6모형에서 세굴구간으로 나타난 구간이 GSTARS 모형에서는 퇴적구간으로 혹은 그 반대로 나타난 구간도 나타났다.

5. 결 론

본 연구는 보청천의 장기적인 하도관리에 대한 기초적인 자료를 제공하기 위해 준2차원 모형인 GSTARS 2.1 모형과 HEC-6 모형을 보청천 하류지점인 기대지점에서 산계지점까지 약 19km를 선정하여 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) GSTARS 2.1 모형에서 Ackers 와 White 공식, Engelund 와 Hanson 공식, Yang 공식을 적용한 결과 하상고의 변동에서 전체적인 경향과 침식·퇴적량 예측에 있어서 실측치와 유사한 결과를 보였으며 Ackers & White 공식을 사용한 모의 결과가 실측치에 더욱 근접하였다. 또한 상류 구간의 침식량과 하류구간의 퇴적량에 있어서 모형의 모의 결과는 과소예측하고 있으며 No.112번에서 No.72번까지는 국부적인 침식을 제외하고는 전반적으로 하상이 퇴적되는 경향을 나타내었다.
- (2) 지점별 최심하상고의 실측된 변동량과 GSTARS 변동량, HEC-6 변동량 비교한 결과 실측된 변동량은 $-3.49\sim 3.09\text{m}$, GSTARS 변동량 $-3.40\sim 3.30\text{m}$, HEC-6 변동량은 $-3.30\sim 4.70\text{m}$ 의 범위로 나타났다.
- (3) 최심하상고의 변동량과 횡방향 하상변동에 대해

비교·분석한 하상고 변동량의 전체적인 경향에 있어서 GSTARS 2.1 모형의 모의 결과와 HEC-6 모형의 모의 결과가 유사한 경향을 보이고 있으나, GSTARS 2.1 모형이 우수한 결과를 나타내었다.

참 고 문 헌

- 서일원(1994). **하상변동 예측기법의 개발연구**, 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서.
- 임창수, 손광익, 이재준, 윤세의(1999). "수치모형을 이용한 하상변동 연구." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제 32권, 제2호, pp. 131~142.
- 우효섭(1993). **하천유사량 산정 기법의 개발**, 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서.
- 한국건설기술연구원(1991). **하상변동예측모형의 비교 분석**, 건기연 91-WR-112.
- 한국건설기술연구원(1993). **하도환경 정비 기초조사연구**, 건설부
- 한국수자원공사(1997). **취수구 유사유입 저감기법 개발연구(2차년도)**.
- 한국수자원학회(2001). **2차원 하천 해석모형: GSTAR2.0, CCHD2D**, 제9회 수공학위크샵.
- 충청북도(1993). **보청천 하천정비기본계획**.
- Molinas A. and C. T Yang(1986). *Computer Program User's Manual for GSTARS*. U.S. Department of Interior Bureau of Reclamation Engineering and Research Center, November.
- Thomas, W.A., and Prasuhn, AL.(1997). "Mathematical Modeling of Scour and Deposition." *Journal of the Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 103.
- (논문번호:02-51/접수:2002.08.02/심사완료:2002.10.18)